

English Translation of Abstract of DE 41 22 189 A1

For determining the noise figure of an electronic item under test from a sinus-wave generator adjustable on discrete frequencies during a calibration procedure first a sine signal with a pre-determined first level and then with a given second level into a level gauge are fed directly and the resulting self-noise levels of the level gauge are measured; subsequently, this sine signal with the same two pre-determined levels will become fed into the item under test and it based on its exit the associated noise levels of the item under test; from these fed and measured levels the noise figure is finally computed; as level gauge a spectrum or a network analyzer with integrated running along generator is preferably used.



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 41 22 189 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 R 29/26
G 01 R 27/28
G 01 R 23/16

②1 Aktenzeichen: P 41 22 189.3
②2 Anmeldetag: 27. 6. 91
④3 Offenlegungstag: 14. 1. 93

DE 41 22 189 A 1

⑦1 Anmelder:
Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, 8000 München,
DE

⑦4 Vertreter:
Graf, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8000 München

⑦2 Erfinder:
Boss, Hermann, Dipl.-Ing., 8000 München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Anordnung zum Bestimmen der Rauschzahl von elektronischen Meßobjekten

⑤7 Zum Bestimmen der Rauschzahl eines elektronischen Meßobjektes werden aus einem auf diskrete Frequenzen einstellbaren Sinusgenerator während eines Kalibriervorganges zunächst ein Sinussignal mit einem vorbestimmten ersten Pegel und dann mit einem vorgegebenen zweiten Pegel unmittelbar in einen Pegelmesser eingespeist und dabei die resultierenden Eigenrauschpegel des Pegelmessers gemessen; anschließend wird dieses Sinussignal mit den gleichen beiden vorbestimmten Pegeln in das Meßobjekt eingespeist und es werden an dessen Ausgang die zugehörigen Rauschpegel des Meßobjektes gemessen; aus diesen eingespeisten und gemessenen Pegeln wird schließlich die Rauschzahl berechnet; als Pegelmesser wird vorzugsweise ein Spektrum- oder Netzwerk-Analysator mit integriertem Mitlaufgenerator verwendet.

DE 41 22 189 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren laut Oberbegriff des Hauptanspruches sowie eine Anordnung zum Ausführen dieses Verfahrens.

Bei den zunehmend komplexer werdenden Hochfrequenz- und Mikrowellenschaltungen gewinnt die Prüfung der Systemparameter bereits auf Modulebene, also beispielsweise unmittelbar bei den verwendeten Bauelementen (Widerstände, Transistoren) oder Schaltungsbausteinen (integrierte Schaltungen) schon während der Entwicklung zunehmend an Bedeutung. Eine hierbei wesentliche Größe ist die sogenannte Rauschzahl, die das Verhältnis von Signal/Rausch-Abstand am Eingang zum Signal/Rausch-Abstand am Ausgang eines Meßobjekts ausdrückt (z. B. Meinke Grundlach, 1956, Seite 1023 ff).

Es ist bekannt, die Rauschzahl z. B. nach der sogenannten 3 dB-Methode zu bestimmen (M. Groll, Mikrowellen-Meßtechnik 1969), wobei die Einspeisung des für die Leistungsverdoppelung erforderlichen Pegels aus einem Sinusgenerator erfolgt. Diese 3 dB-Methode ist jedoch relativ ungenau, da hierbei eine Absolutpegelmessung durchgeführt wird und das Eigenrauschen des Pegelmessers nicht berücksichtigt wird.

Es hat sich daher in der Praxis ein Verfahren als vorteilhafter erwiesen, bei dem zunächst das Eigenrauschen des bei der Messung verwendeten selektiven Pegelmessers während eines Kalibriervorgangs gemessen wird und dann erst das Rauschen des Meßobjektes, so daß beim anschließenden Auswertevorgang das Eigenrauschen des Pegelmessers berücksichtigt werden kann. Zum Kalibrieren und zum eigentlichen Messen des Rauschens des Meßobjektes wird dabei eine Rauschquelle in Form einer Diode benutzt. Wenn an diese Diode eine Gleichspannung angelegt wird, liefert sie eine einer heißen Rauschtemperatur von beispielsweise 10 000 K entsprechende erste Rauschleistung, ohne Vorspannung liefert sie eine einer kalten Rauschtemperatur von beispielsweise 290 K entsprechende Rauschleistung. Diese beiden unterschiedlichen Rauschleistungen der Rauschquelle werden beim Kalibrieren direkt in den Pegelmessers und bei der eigentlichen Messung am Eingang des Meßobjektes eingespeist und die daraus resultierenden Pegel gemessen (ntZ Band 43f, 1990, Heft 2, Seiten 84 bis 86). Aus diesen beiden vorgegebenen Rauschtemperaturwerten und den gemessenen Rauschpegeln beim Kalibrier- und Meßvorgang kann dann die Rauschtemperatur bzw. die Rauschzahl berechnet werden (Formel 13 nach ntZ Band 43, Heft 2, Seite 85). Dieses bekannte Verfahren berücksichtigt zwar das Eigenrauschen des selektiven Pegelmessers, benötigt jedoch eine zusätzliche Rauschquelle, die im Hinblick auf die geforderte Präzision relativ teuer ist.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Bestimmen der Rauschzahl aufzuzeigen, das eine derartige gesonderte Rauschquelle überflüssig macht, und trotzdem hohe Genauigkeit besitzt; außerdem soll eine im Aufbau einfache Anordnung zum Ausführen dieses Verfahrens aufgezeigt werden.

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren laut Oberbegriff des Hauptanspruches durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst. Eine besonders einfache Anordnung zum Ausführen dieses Verfahrens ergibt sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zunutze, daß in den Formeln für die Berechnung der Rauschzahl die bei dem bekannten Verfahren verwendeten Werte für

kalte und heiße Rauschtemperatur auch durch entsprechende Rauschleistungspegel ausgedrückt werden können, wobei in den bekannten Formeln für diese Umrechnung nichts darüber ausgesagt ist, wie diese Leistungspegel beschaffen sein müssen. Aus dieser Erkenntnis resultiert die erfindungsgemäße Maßnahme, daß für die Bestimmung der Rauschzahl nicht die bisher übliche breitbandige Rauschleistung aus einer gesonderten Rauschquelle für die Messung nötig ist, sondern daß dafür auch ein Pegel eines Sinusgenerators geeignet ist. Die Erzeugung von zwei unterschiedlich großen Sinus-signalpegeln an einem Frequenzgenerator ist wesentlich einfacher realisierbar als die Verwendung einer gesonderten ein- und ausschaltbaren Diodenrauschquelle. Trotzdem ist die Messung sehr genau, da ja weiterhin die bekannte Kalibriermethode zur vorherigen Bestimmung des Eigenrauschens des Pegelmessers angewendet wird.

Besonders vorteilhaft ist die Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mittels eines üblichen Spektrum- oder Netzwerkanalysators mit Mitlaufgenerator, beispielsweise unter Verwendung des Spektrumanalysators FSAC der Firma Rohde & Scharz, der einen mit dem frequenzselektiven Pegelmessers synchronisierten Mitlaufgenerator (Tracking-Generator) aufweist, dessen Ausgangssignal über einen Eichteiler mit definierten Ausgangspegeln einstellbar ist. Mit einem solchen Analysator hoher Empfindlichkeit und Pegelmeßgenauigkeit in einem breiten Frequenzband kann die Rauschzahl beliebiger elektronischer Meßobjekte wie Bauelemente, Verstärker und dergleichen einfach dadurch bestimmt werden, daß der Ausgang des Mitlaufgenerators während des Kalibriervorgangs unmittelbar mit dem benachbarten Eingang des eigentlichen Analysators verbunden wird und dann mit zwei unterschiedlichen Ausgangspegeln die Kalibrierung des Analysators vorgenommen wird und anschließend dann zwischen Ausgang des Mitlaufgenerators und dem Eingang des Analysators das Meßobjekt zwischengeschaltet wird und dann wiederum mit den beiden unterschiedlichen Pegeln die eigentliche Messung durchgeführt wird. Über den eingebauten Ausgangseichtheiler des Mitlaufgenerators können die beiden unterschiedlich großen Pegel auf einfache Weise eingestellt werden. Die große dieser beiden unterschiedlichen Pegel ist theoretisch frei wählbar. Da die durch das Meßobjekt hinzukommenden Rauschleistungen jedoch im allgemeinen sehr klein sind sollten diese Pegel nicht zu groß sein, da sonst der Analysator die Unterschiede zwischen dem Ausgangssignal des Mitlaufgenerators am Eingang des Meßobjekts und dem Ausgangssignal des Meßobjekts nicht mehr auflösen kann. Es ist daher zweckmäßig, einen Frequenzgenerator zu verwenden, der es erlaubt, sehr kleine Ausgangspegel einzustellen, wie dies mit dem Mitlaufgenerator des Analysators FSAC mit bis zu -120 dBm möglich ist. Der erste Signalpegel des Frequenzgenerators ist beliebig einstellbar und damit an die Rauschleistung des jeweiligen Meßobjektes anpaßbar. Die erfindungsgemäße Messung ist bei praktisch jeder beliebigen Frequenz des Gesamtfrequenzbandes des Frequenzgenerators durchführbar, beispielsweise auch bei tiefen Frequenzen. Die Rauschzahlbestimmung nach der Erfindung ist bei Verwendung eines Analysators mit Mitlaufgenerator nicht nur bei ausgewählten diskreten Einzel-frequenzen möglich, sondern es ist auch ein automatischer Meßvorgang über den gesamten Frequenzbereich des Analysators möglich. Die Kalibriermessung kann dabei entweder jeweils unmittelbar während des schritt-

weisen Weiterschaltens der Frequenz für jeden einzelnen diskreten Frequenzschritt vor der eigentlichen Objektmessung durchgeführt werden, oder es wird in einem ersten Kalibriervorgang zunächst an den ausgewählten Meßpunkten innerhalb des Gesamtfrequenzbandes die Kalibrierung durchgeführt und anschließend dann in einem zweiten Meßvorgang die eigentliche Objektmessung. Wichtig ist, daß bei der anschließenden Auswertung jeweils die Kalibrierwerte und Meßwerte für Frequenzen berücksichtigt werden, die innerhalb der Bandbreite B_S des Pegelmessers liegen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand einer schematischen Zeichnung an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert.

Die Figur zeigt einen handelsüblichen Spektrumanalysator FSAC der Firma Rohde & Schwarz beschrieben im Datenblatt PD756.7142.12 mit einem frequenzselektiven Pegelmesser S, der im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 2 GHz durchstimmbar ist und einen sehr empfindlichen HF-Vorverstärker mit geringem Eigenrauschen besitzt. Der Abstimmoszillator des nach dem Überlagerungsprinzip arbeitenden frequenzselektiven Pegelmessers S, der durch eine Wobbeleinrichtung in dem gegebenen Frequenzbereich automatisch durchstimmbar ist, der jedoch auch von Hand auf jede beliebige diskrete Frequenz des Gesamtfrequenzbereiches einstellbar ist, ist mit einem im Gerät integrierten Mitlaufgenerator (Tracking-Generator) G synchronisiert, die Ausgangsfrequenz dieses Mitlaufgenerators G steht an der Ausgangsbuchse "A" mit einem durch einen eingebauten Eichteiler genau bestimmten einstellbaren Pegel zur Verfügung. Durch den Eichteiler wird ein erster sehr kleiner Pegel P_1 in der Größenordnung von -120 dBm eingestellt, der entsprechend dem jeweils zu vermessenden Meßobjekt M beliebig gewählt wird. Außerdem wird ein demgegenüber um einen konstanten Wert kleinere Pegel P_2 am Eichteiler des Generators G eingestellt.

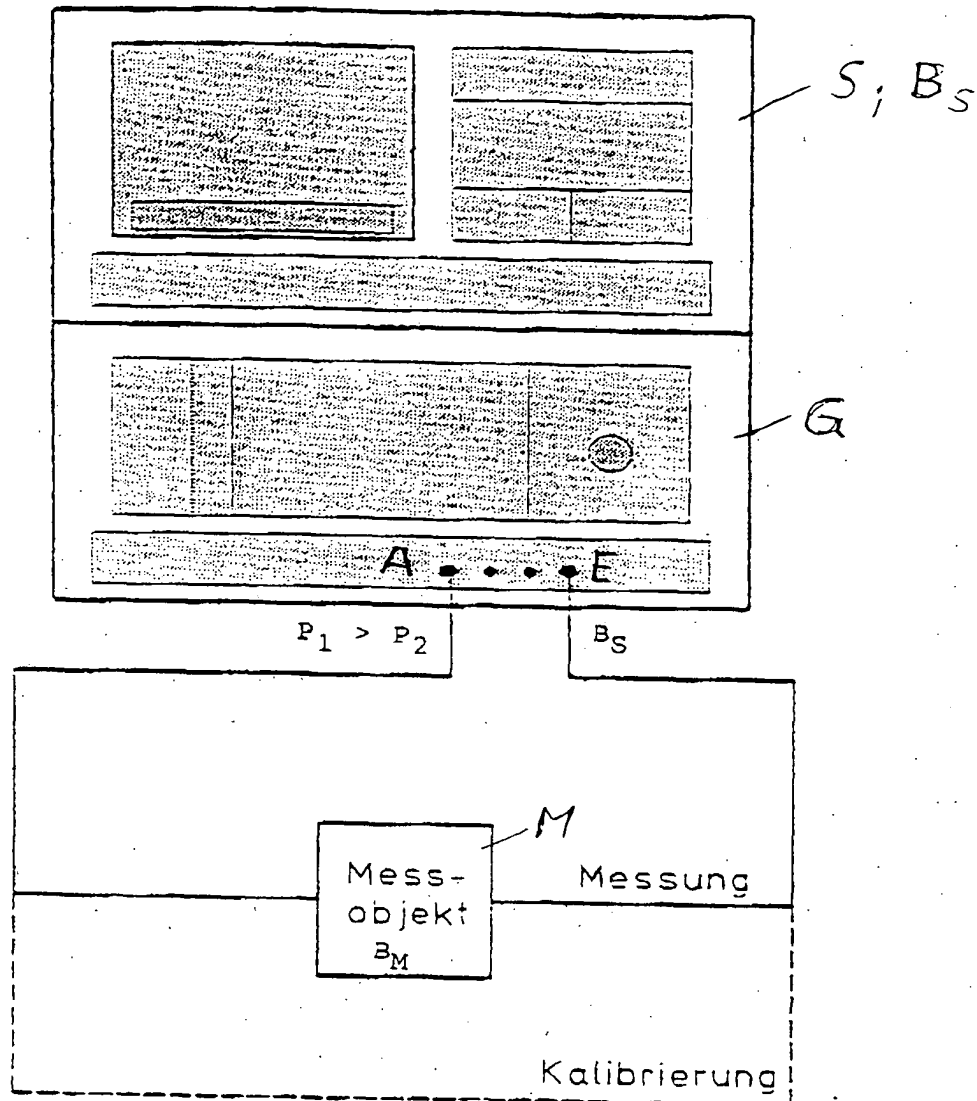
Während einer ersten Kalibriermessung wird der Ausgang A des Generators G direkt mit dem Eingang "E" des Pegelmessers S verbunden und dabei die dem Eigenrauschen entsprechenden Pegelmeßwerte P_{1K} und P_{2K} gemessen. Anschließend wird dann zwischen Ausgang des Generators G und Eingang des Pegelmessers S das Meßobjekt M mit der Bandbreite B_M zwischengeschaltet und bei gleicher Frequenz wieder die beiden Pegel P_1 und P_2 eingespeist und die am Ausgang des Meßobjektes M auftretenden Pegelmeßwerte P_{1M} und P_{2M} gemessen. Anschließend wird dann nach der in der Figur angegebenen Formel aus dieser Pegelwerten die Rauschtemperatur T_M berechnet, wobei k die Boltzmann'sche-Konstante ist und B_S die Bandbreite des Meßobjektes. Daraus kann dann in bekannter Weise die Rauschzahl F berechnet werden.

Die Rauschzahlmessung nach diesem Verfahren kann entweder bei nur einer einzelnen diskreten Frequenz des Mitlaufgenerators G bestimmt werden oder bei mehreren vorgegebenen Frequenzen eines durch das Meßobjekt vorgegebenen Bereiches, wobei dies auch automatisch durch den Woppelbetrieb des Pegelmessers durchgeführt werden kann. Da bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Pegel P_1 und P_2 Sinusspannungen des Sinusgenerators G sind, ist auch ein schnellerer Meßablauf gewährleistet, da bei der Kalibrierung die Mittelwertbildung im Pegelmesser entfällt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Rauschzahl eines elektronischen Meßobjektes durch Pegelmessung mittels eines frequenzselektiven Pegelmessers unter Berücksichtigung des während einer Kalibriermessung bestimmten Eigenrauschens des Pegelmessers, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus einem auf diskrete Frequenzen einstellbaren Sinusgenerator während des Kalibriervorganges zunächst ein Sinussignal mit einem vorbestimmten ersten Pegel und dann mit einem vorgegebenen zweiten Pegel unmittelbar in den Pegelmesser eingespeist und dabei die resultierenden Eigenrauschpegel des Pegelmessers gemessen werden und anschließend ein Sinussignal mit den gleichen beiden vorbestimmten Pegeln in das Meßobjekt eingespeist und an dessen Ausgang die zugehörigen Rauschpegel des Meßobjektes gemessen werden und aus diesen eingespeisten und gemessenen Pegeln die Rauschzahl berechnet wird.
2. Anordnung zum Ausführen eines Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Verwendung eines Spektrum- oder Netzwerk-Analysators mit integriertem Mitlaufgenerator, wobei das Ausgangssignal des mit dem frequenzselektiven Pegelmesser des Analysators synchronisierten Mitlaufgenerators auf zwei vorbestimmte unterschiedliche Pegel einstellbar ist.
3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden unterschiedlichen Pegel am Ausgangsteiler des Mitlaufgenerators einstellbar sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



$$T_M = \frac{1}{K \cdot B_S} \frac{P_1 \cdot (P_{2M} - P_{2K}) + P_2 \cdot (P_{1K} - P_{1M})}{(P_{1M} - P_{2M})}$$

bei Kalibrierung: P_{1K}, P_{2K}

$$B_S < B_M$$

mit Meßobjekt: P_{1M}, P_{2M}

$$P_1 > P_2$$